

## ロードセルを用いた浮体式津波避難シェルターの波力に関する検討\*

秋田大学理工学部 蒔苗 純  
 秋田大学大学院理工学研究科 齋藤 憲寿  
 秋田大学大学院理工学研究科 渡辺 一也

### 1. はじめに

2011年の東日本大震災による津波発生時において、避難行動を行う前の家族や隣人等への安否確認、また、その情報が得られないことが原因で避難が遅れるケースが多いことが判明している<sup>1)</sup>。このことから自分の身を守るだけでなく、第三者へ自身が安全に避難できる手段を持つことを示すソフト面の効果を持つ浮体式シェルターの利用が着目されている。これまでも浮体式シェルターが企業や高齢者向け住宅に設置されてきたが、近年では個人宅にも備蓄機能を備えた浮体式シェルターが設置されている<sup>2)</sup>。しかし、あくまでも津波避難に対して有効な手段は高所避難であり、東日本大震災や今後30年以内に発生すると予測されている千島海溝、南海トラフ、相模トラフ周辺での大規模地震による津波に対しては浮体式シェルターだけでは十分な対策ではないため、本研究では高所避難と浮体式シェルターを併用した複合的な避難に着目している。既往研究では浮体式シェルターを低地に設置した場合<sup>3)</sup>や建物上に設置した場合<sup>4)</sup>の運動特性について検討されてきたが、それらの多くが津波の第一波目を対象としたものが多く、必ずしも最大波力とは限らない。そのため、本研究では第二波目以降が最大波力となる津波を対象とし、浮体式シェルターに作用する波力を検討した。

### 2. ロードセルについて

既往研究<sup>4)</sup>では四分力計を用いて計測を行っていたが、本研究ではより安価で計測範囲の種類が豊富であるロードセル<sup>5)</sup>を使用することにした。ロードセルは図-1のシェルター模型上部に接続しており、シェルターに津波が作用した際にロードセルのひずみを電圧として計測し、荷重へ換算することで津波の水平方向の波力を求めている。ロードセルで計測できる荷重の最大値、最小値、分解能を表-1に示す。また、四分力計との差を確認するため、予備実験としてロードセルで第一波目が最大津波となるケース<sup>4)</sup>から2パターン、第二波目以降が最大津波となるケース<sup>6)</sup>から4パターンの同条件による実験を行い、

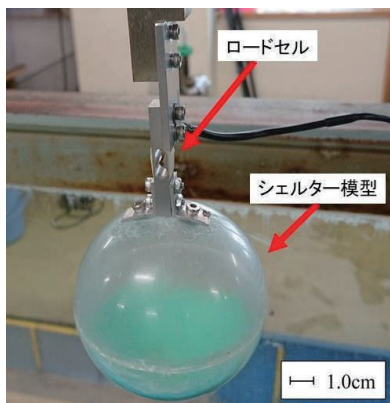


図-1 シェルター模型

表-1 ロードセルの性能

最大値 (gf)	最小値 (gf)	分解能 (gf)
600	-550	1.12

\* Investigation of Wave Force Acting on Floating Type Tsunami Evacuation Shelter using Load Cell by Jun MAKANAE, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

四分力計とロードセルの最大波力の関係を図-2に示した。その結果、近似直線の傾きが1.02、決定係数が0.95であることから、ロードセルは四分力計と同様に波力を計測できることを確認した。

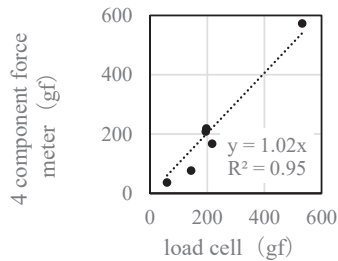


図-2 四分力計-ロードセル相関図

### 3. 実験方法

実験は縮尺 1/20 で作成したシェルター模型と建物模型を使用して行った<sup>4)</sup>。シェルター模型は直径 8.6 cm、質量 78.0 g で、建物模型は奥行 30 cm、高さ 15 cm、幅 14 cm で津波作用時に移動しないように固定してある。実験水路を図-3に、建物模型の拡大図を図-4に示す。

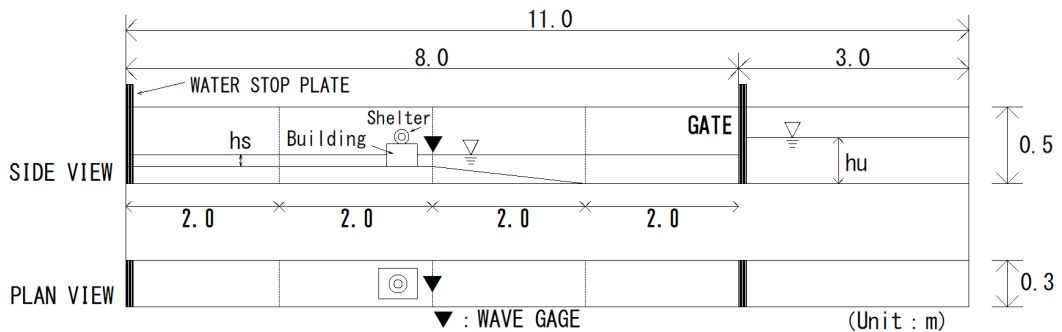


図-3 実験水路

水路は高さ 0.50 m、全長 11.0 m のうちゲート内の貯水長が 5.0 m、ゲート後方に斜面勾配 1/26 の斜面がある。その先に建物模型を設置した。シェルター模型は既往研究<sup>4)</sup>同様にシェルター模型と建物模型の摩擦による影響を取り除くため、建物模型上部から 5mm 浮いた状態で固定した。実験は表-2 の条件を 3 回ずつ行った。なお、浸水深は止水版を水路下端に設置することで表現している。建物模型上に設置するシェルター模型の位置は建物前方、中央、後方の 3 通りであり、それぞれ建物前面から後背面にかけて 3 cm、15 cm、27 cm の位置とした。波高計は建物模型前面から 9cm 離れた位置に設置しており、津波の様子を観察するため衝突前後の画像を撮影している<sup>8)</sup>。

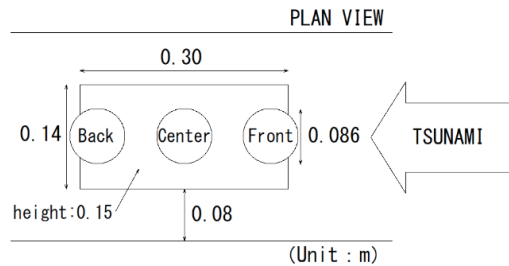


図-4 建物模型の拡大図

表-2 実験条件

	貯水深 hu (cm)	浸水深 hs (cm)	シェルター設置位置
No.1	35	7.5	中央
No.2	30	7.5	中央
No.3	40	7.5	中央
No.4	35	15	中央
No.5	35	7.5	前方
No.6	35	7.5	後方

#### 4. 実験結果

表-2の実験結果について、No.1の貯水深35cm、浸水深7.5cm、設置位置中央の条件を基準とし、条件を変えて検討を行った。

##### (1) 貯水深 $h_u$ による検討

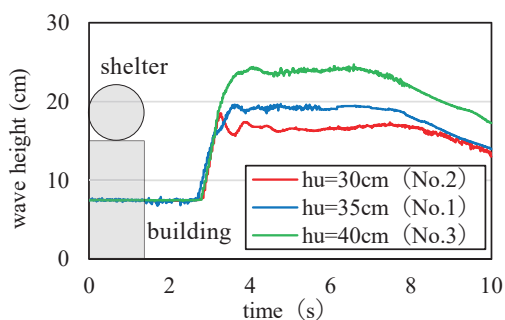


図-5 波高（貯水深の比較）

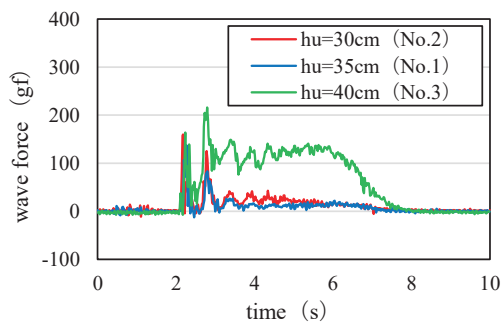


図-6 波力（貯水深の比較）

貯水深 $h_u$ (cm)	衝突前	衝突後
30 (No.2)		
35 (No.1)		
40 (No.3)		

図-7 津波衝突前後（貯水深の比較）

浸水深  $h_s$  を 7.5cm、シェルター模型の設置位置中央とし、貯水深  $h_u$  を 30cm (No.2)、35cm (No.1)、40cm (No.3) に変え、建物模型上のシェルター模型に津波が衝突した際の波力について検討を行った。

建物模型の前面で計測した波高の経時変化を図-5に示す。なお、図内ではシェルター模型及び建物模型の高さを模擬している。最大波高は貯水深30cmの時に16.1cm、貯水深35cmの時は19.0cm、貯水深40cmの時は24.3cm計測され、貯水深の深さに応じて波高も増加している。

建物模型上のシェルター模型に作用した水平波力の経時変化を図-6に示す。貯水深が30cmと35cmの実験において波力が一瞬大きく計測され、その後は微小な波力を計測している。一方、貯水深を40cmにして実験すると波力は4秒間ほど大きく計測し続けている。ここで、本実験ではシェルター模型を固定することにより継続的に波力を計測しているが、実際のシェルターは津波の衝突後に浮いた状態で流されるため、実験条件と実現象では異なる。そこで津波衝突直後の最大波力に着目すると、貯水深30cmは176.5gf、貯水深35cmは138.8gf、貯水深40cmは222.9gfであり、図-5の最大波高と異なる傾向を示した。

シェルター模型に津波が衝突する前後の画像を図-7に示す。建物模型の高さが15cmに対して浸水深が7.5cmであるため、津波は一度壁面に衝突した後、建物上を放物線を描くように進行する。津波衝突後の画像を見ると、貯水深30cm及び40cmでは津波がシェルター模型に直撃しているが、貯水深35cmでは津波がシェルター模型を飛び越えるように進行している。そのため、計測される波力は津波の衝突する角度が影響していると考えられる。

(2) 浸水深  $h_s$  による比較

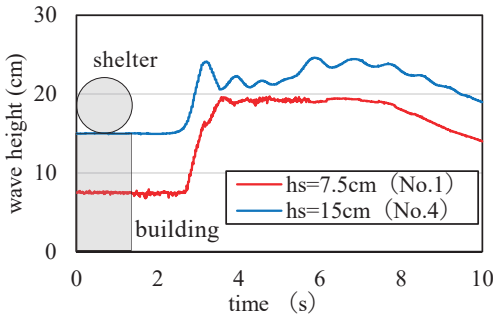


図-8 波高（浸水深の比較）

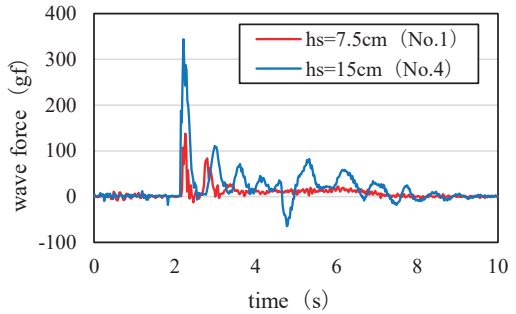


図-9 波力（浸水深の比較）

浸水深 $h_s$ (cm)	衝突前	衝突後
7.5 (No.1)		
15 (No.4)		

図-10 津波衝突前後（浸水深の比較）

貯水深  $h_u$  を 35cm、シェルター模型の設置位置中央とし、浸水深  $h_s$  を 7.5cm (No.1)、15cm (No.4) に変え、建物模型上のシェルター模型に津波が衝突した際の波力について検討を行った。

建物模型の前面で計測した波高の経時変化を図-8に示す。浸水深 15cm の最大波高は 24.6cm であり、浸水深 7.5cm に比べて 5.6cm 大きくなっている。これは浸水深の違いにより津波に押し上げられる水量が多くなることが原因と考えられる。また、衝突後の波高は一定ではなく不規則な波形であった。

建物模型上のシェルター模型に作用した水平波力の経時変化を図-9に示す。浸水深 15cm では最大波力が 343.9gf と浸水深 7.5cm の 2 倍以上になっており、波高と同様の傾向であった。

シェルター模型に津波が衝突する前後の画像を図-10に示す。浸水深 15cm は建物模型の高さと等しいため、津波が建物模型の壁面に衝突することなく段波のままシェルターに衝突した。そのため、衝突後の画像では浸水深 7.5cm の津波の勢いが大きく見えるが、実際には建物模型の壁面との衝突による減衰がない浸水深 15cm がより大きく作用していたと考えられる。

### (3) 設置位置による検討

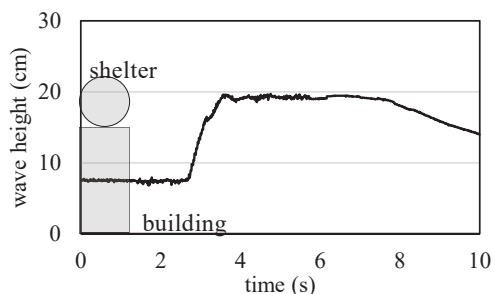


図-11 波高（設置位置の比較）

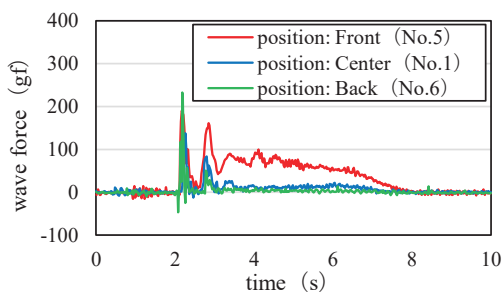


図-12 波力（設置位置の比較）

シェルター設置位置	衝突前	衝突後
前方 (No.5)		
中央 (No.1)		
後方 (No.6)		

図-13 津波衝突前後（設置位置の比較）

貯水深を 35cm、浸水深を 7.5cm とし、設置位置を建物前方 (No.5)、中央 (No.1)、後方 (No.6) に変え、シェルター模型に津波が衝突した際の波力について検討を行った。

建物模型の前面で計測した波高の経時変化を図-11、建物模型上のシェルター模型に作用した水平波力の経時変化を図-12 に示す。貯水深と浸水深の条件が等しいため、波高は同一となるが、設置位置が建物前方ではシェルター模型に津波が衝突した後も継続して波力を計測している。これは、津波が建物模型上では前方から後方にかけて波高が低くなるため、シェルター模型を前方に置いたときに波力を計測する時間が長くなることが要因と考えられる。また、建物前方の最大波力は 193.2gf、中央は 138.8gf、後方は 195.7gf と中央のみ波力が低く計測された。

シェルター模型に津波が衝突する前後の画像を図-13 に示す。津波自体は同じ条件で発生させているため、壁面衝突後の津波の放物線の角度も同じである。建物前方では津波が上昇しながらシェルターに衝突しており、中央では津波がシェルターを飛び越えるように進行し、後方では津波が下降しながらシェルターに衝突していた。

## 5. おわりに

本研究により以下のことが明らかになった。

- 1) 浸水深が 7.5cm の場合、津波は壁面に衝突した後に建物上を放物線を描くように進行した。
- 2) 浸水深と建物模型の高さが等しい場合、津波が段波のままシェルターに衝突するため、波力が大きくなった。
- 3) 浸水深や貯水深の違いにより、最大波力が最も小さくなるシェルターの設置位置が異なった。

今後はより実現象に近い検討を行うため、シェルター模型を固定しない状態での波力を計測していく予定である。

## 謝辞

本研究を行うにあたって、秋田大学水工学研究室のメンバーの協力を得た。ここに記し、誠意を表する。

## 参考文献

- 1) 内閣府：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 第7回会合  
(<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/7/pdf/1.pdf>) (2019-12-12 アクセス)
- 2) 南海トラフ地震対策家庭用シェルター - 津波避難シェルターヒカリ (<https://www.shelter-hikari.com/>)  
(2019-12-12 アクセス)
- 3) 重松孝昌・中東大輔：二重式浮体式津波避難シェルターの運動特性に関する実験的研究，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67, No.2, pp.I\_751-I\_755, 2011.
- 4) 遠野雄樹・渡辺一也：建物上に設置した浮体式シェルターの挙動分析と流速・波力に関する検討，土木学会東北支部技術研究発表会講演概要，2016 (CD-ROM)
- 5) 秋月電子通商：ロードセル シングルポイント (ビーム型) SC616C 500g  
(<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gP-12532/>) (2020-1-10 アクセス)
- 6) 國井優太・渡辺一也：津波シェルターに作用する波力と運動特性に関する検討，東北地域災害科学研究，第 54 巻，pp.31\_36，2017.
- 7) 株式会社エー・アンド・デイ：ロードセル入門  
([https://www.aandd.co.jp/adhome/products/loadcell/introduction/cell\\_intro.html](https://www.aandd.co.jp/adhome/products/loadcell/introduction/cell_intro.html)) (2019-1-9 アクセス)
- 8) 藤井龍也・渡辺一也：第二波目以降が最大津波となる場合の津波避難シェルターの挙動に関する検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，73 巻，2 号，pp. I\_210-I\_215, 2017.